

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –

Part 4: Test and evaluation methods for flexible piezoelectric energy harvesting devices

Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et production d'énergie –

Partie 4: Méthodes d'essai et d'appréciation pour les dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation –
Part 4: Test and evaluation methods for flexible piezoelectric energy harvesting devices**

**Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et production d'énergie –
Partie 4: Méthodes d'essai et d'appréciation pour les dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 31.080.99

ISBN 978-2-8322-6609-0

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

CONTENTS

FOREWORD.....	4
1 Scope.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	6
3.1 General terms.....	6
3.2 Piezoelectric transducer.....	8
3.3 Characteristic parameters	8
4 Essential ratings and characteristic parameters	10
4.1 Limiting values and operating conditions.....	10
4.2 Additional information	11
5 Test method	11
5.1 General.....	11
5.2 Electrical characteristics	12
5.2.1 Test procedure	12
5.2.2 Capacitance	13
5.2.3 Open circuit voltage.....	14
5.2.4 Short circuit current	14
5.2.5 Open circuit voltage with various induced strains.....	15
5.2.6 Short circuit current with various induced strains	15
5.2.7 Open circuit voltage with various induced frequencies	16
5.2.8 Short circuit current with various induced frequencies.....	17
5.2.9 Output load voltage	18
5.2.10 Output current	19
5.2.11 Output power	19
5.2.12 Optimal load impedance	20
5.2.13 Maximum output power.....	20
5.2.14 Test procedure	20
5.2.15 Temperature range	21
5.2.16 Relative humidity range	22
5.2.17 Input bending motion range	22
5.2.18 Input stretching motion range	22
5.2.19 Input twisting motion range.....	22
Annex A (informative) Piezoelectric modes	23
A.1 General.....	23
A.2 d_{33} mode.....	23
A.3 d_{31} mode.....	23
Annex B (informative) Classification of flexible piezoelectric energy harvesters	25
B.1 General.....	25
B.2 Piezoelectric thin film with top and bottom electrodes (d_{31} mode).....	25
B.3 Piezoelectric thin film with comb structured electrodes (d_{33} mode).....	25
B.4 Piezoelectric nano wire with top and bottom electrodes	25
B.5 Flexible piezoelectric material with top and bottom electrodes	25
Annex C (informative) Input motions	27
C.1 Classification of strain motions.....	27
C.2 Example of test method	27

Annex D (informative) Electromechanical coupling	29
D.1 Compliance and coupling coefficient relation	29
D.2 Young's modulus and coupling coefficient relation	29
Bibliography	30
Figure 1 – Flexible energy harvester using a flexible substrate with a piezoelectric film	7
Figure 2 – Equivalent circuit of flexible piezoelectric energy harvester	9
Figure 3 – Measurement procedure of flexible piezoelectric energy harvesters	12
Figure 4 – Test setup for the electrical characteristics of a flexible piezoelectric energy harvester	13
Figure 5 – Open circuit voltage of a flexible piezoelectric energy harvester	14
Figure 6 – Short circuit current of a flexible piezoelectric energy harvester	14
Figure 7 – Open circuit voltage of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced strains	15
Figure 8 – Short circuit current of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced strains	16
Figure 9 – Open circuit voltage of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced frequencies	17
Figure 10 – Short circuit current of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced frequencies	18
Figure 11 – Output load voltages of flexible piezoelectric energy harvester at various external loads	19
Figure 12 – Output current of the flexible piezoelectric energy harvester at various output voltages	19
Figure 13 – Output power of the flexible piezoelectric energy harvester at various external loads	20
Figure 14 – Output power and voltage of the flexible piezoelectric energy harvester at various input bending, stretching, or twisting motions	20
Figure 15 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability of the flexible piezoelectric energy harvester	21
Figure A.1 – Piezoelectric mode of the bending beam based energy harvester	24
Figure B.1 – Classification of flexible piezoelectric energy harvesters	26
Figure C.1 – Classification of strain motions applied for flexible piezoelectric energy harvesters	27
Figure C.2 – The output current measurement for different types of stretching	28
Table 1 – Specification parameters for flexible piezoelectric energy harvesters	10

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SEMICONDUCTOR DEVICES –
SEMICONDUCTOR DEVICES FOR
ENERGY HARVESTING AND GENERATION –**

**Part 4: Test and evaluation methods for
flexible piezoelectric energy harvesting devices**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 62830-4 has been prepared by IEC technical committee 47: Semiconductor devices.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
47/2530/FDIS	47/2551/RVD

Full information on the voting for the approval of this International Standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This document has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts in the IEC 62830 series, published under the general title *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-4:2019

SEMICONDUCTOR DEVICES – SEMICONDUCTOR DEVICES FOR ENERGY HARVESTING AND GENERATION –

Part 4: Test and evaluation methods for flexible piezoelectric energy harvesting devices

1 Scope

This part of IEC 62830 describes terms, definitions, symbols, configurations, and test methods that can be used to evaluate and determine the performance characteristics of flexible piezoelectric energy harvesting devices for practical use. This document is applicable to energy harvesting devices for consumers, general industries, wearable electronics, military, and biomedical applications without any limitations of device technology and size.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60749-5, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 5: Steady-state temperature humidity bias life test*

IEC 60749-12, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 12: Vibration, variable frequency*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

3.1 General terms

3.1.1

flexible

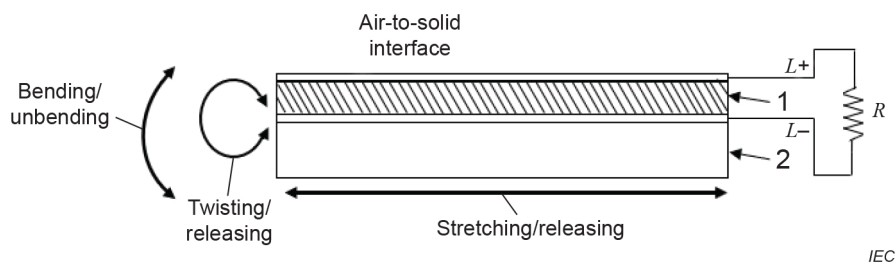
capability of being bent or flexed

3.1.2

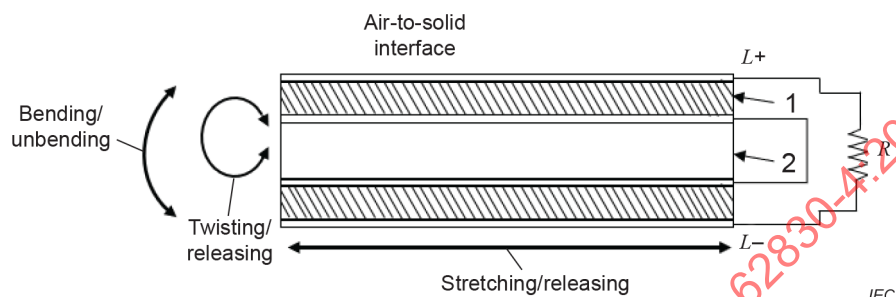
flexible energy harvester

energy transducer that transforms bending, stretching, or twisting energy into electric energy

Note 1 to entry: A flexible energy harvester which converts applied stress by bending, stretching or twisting to electricity using a piezoelectric transducer is comprised of a spring and a piezoelectric transducer as shown in Figure 1. The piezoelectric transducer contains two electrodes and a piezoelectric film or nano wires. The induced external stress introduces the bending, stretching or twisting motion to the flexible substrate as shown in Annex C. The flexible substrate is bent and the bending of the spring introduces tension and compression of the piezoelectric film. The top and bottom electrodes of the piezoelectric film harvest the generated charges resulting from the piezoelectric effect.



1(a) Unimorph type



1(b) Bimorph type

Key**Configuration of energy harvester**

- | | |
|---|--|
| 1 | Piezoelectric film which is the body layer of the piezoelectric transducer for energy harvesting |
| 2 | Spring, to couple the induced bending, stretching or twisting to the flexible substrate by suspending it |

Components to operate energy harvester

- | | |
|----------|-----------------------------|
| R | External load |
| $L+, L-$ | Outputs of energy harvester |

Figure 1 – Flexible energy harvester using a flexible substrate with a piezoelectric film

Note 2 to entry: The flexible piezoelectric energy harvester can be classified into four different types as shown in Annex B.

3.1.3**unimorph cantilever**

cantilever that consists of one piezoelectric layer

Note 1 to entry: A unimorph cantilever consists of two layers where the piezoelectric layer is attached with the non-piezoelectric layer that works as a spring to introduce external stress to the piezoelectric layer.

3.1.4**bimorph cantilever**

cantilever that consists of two piezoelectric layers

Note 1 to entry: In a bimorph cantilever, a non-piezoelectric layer is placed between two piezoelectric layers.

3.1.5**flexible substrate**

substrate that is made from flexible materials, such as polyimide and PDMS

3.1.6**spring**

elastic object to store mechanical energy with spring constant, k_{sp}

[SOURCE: IEC 62830-1:2017, 3.1.5]

3.2 Piezoelectric transducer

3.2.1

piezoelectric transducer

energy converter to generate electricity from mechanical energy by means of piezoelectric effect

[SOURCE: IEC 62830-1: 2017, 3.2.1]

3.2.2

piezoelectric effect

effect by which a mechanical deformation of piezoelectric material produces a proportional change in the electric polarization of that material

3.2.3

piezoelectric constant

d

quantifying value of the polarization in the piezoelectric material on application of a stress

3.2.4

electromechanical coupling coefficient

k

value to describe the conversion rate of electrical energy to mechanical form or vice versa

Note 1 to entry: The coefficient is a combination of elastic, dielectric and piezoelectric constants which appears naturally in the expression of the piezoelectric transducer.

$$k = \frac{d}{(s\varepsilon)^{1/2}} \quad (1)$$

where

d is the piezoelectric charge constant;

s is the elastic compliance (inverse of Young's modulus) at constant electric field;

ε is the permittivity of the piezoelectric material at constant stress.

Note 2 to entry: Annexes A and D show additional information for the piezoelectric constant and electromechanical coupling.

3.2.5

capacitance

C_p

capacitance between the two electrodes of the piezoelectric transducer

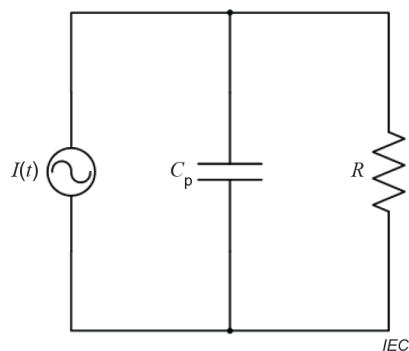
3.3 Characteristic parameters

3.3.1

equivalent circuit

<flexible piezoelectric energy harvester> electrical circuit which has the same output voltage from induced bending, stretching, or twisting motion as the piezoelectric flexible energy harvester in the immediate neighborhood of a resonance

Note 1 to entry: A flexible piezoelectric energy harvester can be divided into current source and capacitance parts as shown in Figure 2. The equivalent circuit is comprised of parallel connected C_p , of R , and of transformer ($I(t)$), where C_p and R represent the capacitance between the two electrodes of the piezoelectric transducer and external load.

**Key**

$I(t)$	current source of piezoelectric transducer
C_p	capacitance of piezoelectric transducer
R	external load

Figure 2 – Equivalent circuit of flexible piezoelectric energy harvester**3.3.2****open circuit voltage** V

electrical potential difference relative to a reference node of energy harvester when there is no external load connected to the terminals of the energy harvester

3.3.3**short circuit current** I

current through the external load connected to the terminal of an energy harvester

[SOURCE: IEC 62830-1:2017, 3.3.6, modified – the term "output current" has been replaced by "short circuit current".]

3.3.4**output power** P

electrical power transferred to the external load connected to the terminal of an energy harvester

[SOURCE: IEC 62830-1:2017, 3.3.5]

3.3.5**power density**

electrical power per unit volume (including seismic mass and clasper) transferred to the external load connected to the terminals of the energy harvester

3.3.6**optimal load** R_{opt}

specified value of the external load for transferring the largest electrical energy from the energy harvester

[SOURCE: IEC 62830-1: 2017, 3.3.7]

3.3.7**temperature range**

range of temperature as measured on the enclosure over which the energy harvester will not sustain permanent damage though not necessarily functioning within the specified tolerances

[SOURCE: IEC 62830-1: 2017, 3.3.9]

3.3.8**humidity range**

range of humidity as measured in the enclosure over which the energy harvester will not sustain permanent damage though not necessarily functioning within the specified tolerances

3.3.9**input stress**

range of stress induced by bending motion, stretching motion, and twisting motion to the energy harvester as measured on the enclosure over which the energy harvester will not sustain permanent damage under long term operation though not necessarily functioning within the specified tolerances

3.3.10**mean-time-to-failure**

length of time the energy harvester is expected to last in operation without failure or disruption

4 Essential ratings and characteristic parameters**4.1 Limiting values and operating conditions**

Specification and characteristic parameters should be listed as shown in Table 1. The manufacturer shall clearly announce the operating conditions and their limitation for energy harvesting. The limiting value is the maximum induced bending, stretching or twisting motion to ensure the long term operation of the flexible energy harvester for power generation without any damage.

Table 1 – Specification parameters for flexible piezoelectric energy harvesters

Parameters	Symbols	Min.	Max.	Unit	Measuring conditions
<i>Insert name of characteristic parameters</i>					

The information provided in Table 1 is the following:

- Parameters: name of the characteristic parameters;
- Symbols: symbol of the parameters;
- Min.: minimum value of the parameters;
- Max.: maximum value of the parameters;
- Unit: unit of the parameters;
- Measuring conditions: specified conditions for evaluation.

4.2 Additional information

Some additional information should be given such as equivalent circuits (e.g. resonant frequency, internal impedance, frequency response, output voltage and power, etc.), handling precautions, physical information (e.g. outline dimension, terminals, etc.), accessories, installation guide, package information, PCB interface and mounting information, and other information.

5 Test method

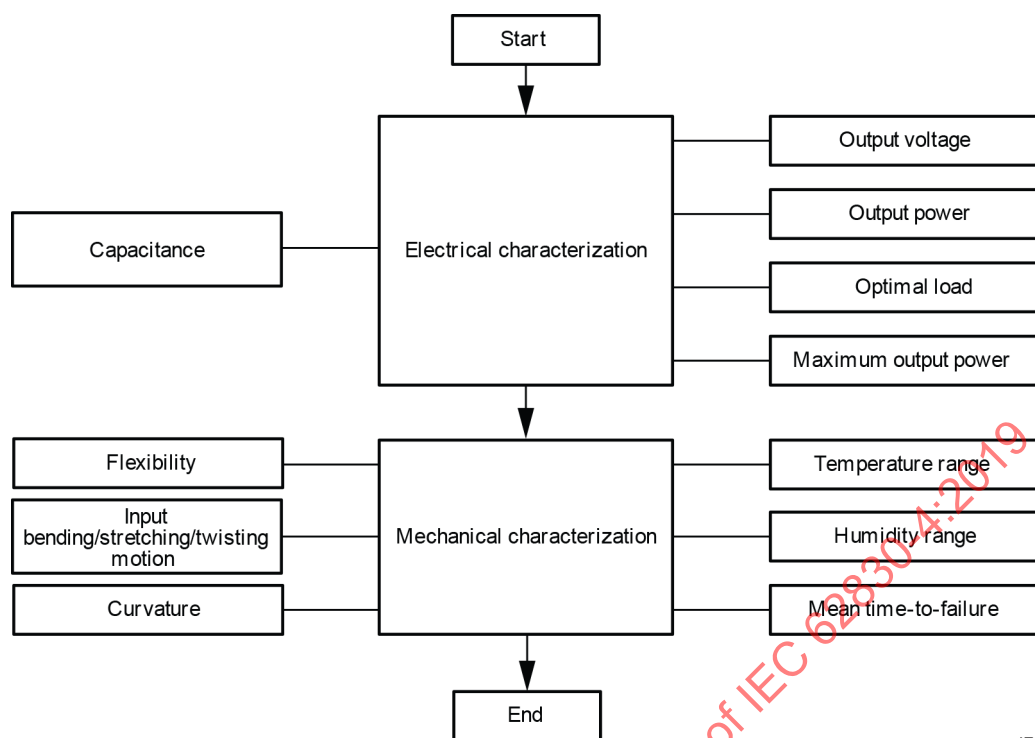
5.1 General

Basically, the general test procedures for a flexible energy harvester are performed as shown in Figure 3. After the flexible piezoelectric energy harvester is being mounted on a test fixture, it is measured by using voltage, current, and LCR meters. To measure and characterize these devices accurately, the ultra-high-impedance meters should be used.

After calibration of the measuring equipment, connect the test cable with the output terminals of the flexible energy harvester mounted on the test fixture such as a vibration exciter or linear motor. The readings of the output voltage or current on the display of the meters are carefully taken with the induced bending, stretching, or twisting motion measured by the accelerometer.

NOTE A flexible energy harvester can be measured as shown in Figure 3. After mounting the energy harvester onto a linear motor, the electrical characteristics are measured by using a meter or equivalent equipment. If the measurements are satisfactory, a reliability test for the temperature range with thermal cycling and mechanical failure with various bending, stretching or twisting motions, is performed for commercial use.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-4:2019



IEC

Key

Procedure	Reference subclause	Procedure	Reference subclause
Start		Mechanical characterization	
Electrical characterization		Flexibility	3.1.1
Capacitance	3.2.5 and 5.2.2	Input bending/stretching/twisting motion	3.3.9 and 5.2.17 to 5.2.19
Output voltage	5.2.9	Temperature range	3.3.7 and 5.2.15
Output power	3.3.4 and 5.2.11	Humidity range	3.3.8 and 5.2.16
Optimal load	3.3.6 and 5.2.12	Mean-time-to-failure	3.3.10
Maximum output power	5.2.13		

Figure 3 – Measurement procedure of flexible piezoelectric energy harvesters

5.2 Electrical characteristics

5.2.1 Test procedure

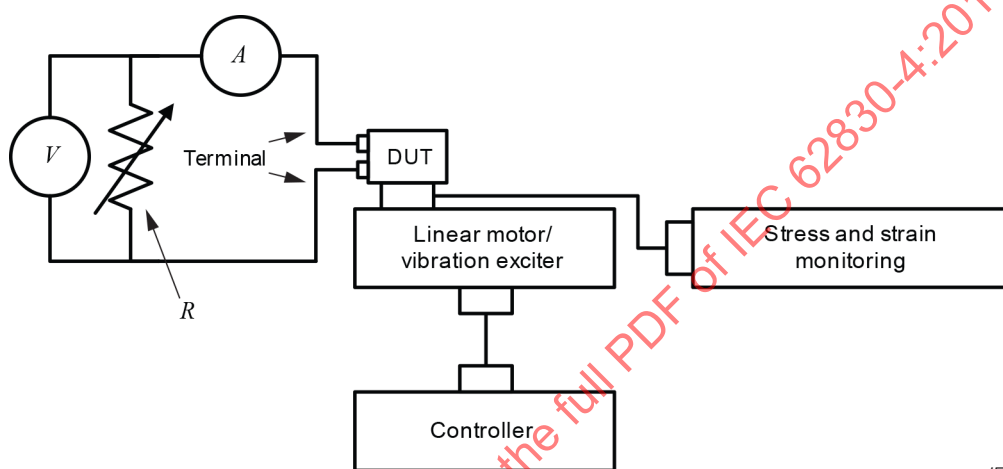
Figure 4 shows a test setup of the electrical characteristics of a flexible piezoelectric energy harvester. To measure the electrical characteristics of a flexible piezoelectric energy harvester, the device should be mounted on a linear motor/vibration exciter as shown in Figure 4. When periodic signal input waveforms (sinusoidal, rectangular, triangular, sawtooth, etc.) with specified frequency and acceleration are applied to the device at the condition of a continuous bending, stretching, or twisting motion, an output voltage across an external load and short current are measured. The input motion (stress) being used to characterize the devices can be selected as the possible applications of the devices. The direction of deformation depends on the geometrical structure of the harvester and direction of applied acceleration. A periodic sinusoidal waveform of 1 Hz frequency and 1 g acceleration is the input during all the experimental data presented here.

The following test procedure is performed:

- A specified bending, stretching, or twisting motion is induced to the energy harvester.

- b) The voltage across or current through the external load which is connected to the terminals of the energy harvester is measured using a voltage or current meter, respectively.
- c) The voltage and current are measured under various accelerations of bending, stretching, or twisting motion by adjusting the amplifying ratio of the controller.
- d) The voltage and current are measured between the top and bottom electrodes or comb structured electrode through forward and reverse connection at the specific range of strain.
- e) The voltage and current are measured with various induced strain ranges and frequencies.
- f) The voltage and current are derived from various external loads to find the optimal load.

NOTE In the random excitation experiments, the base excitation is intended to cover a broad range of excitation frequencies to be as close to white noise as possible within the limitations of the electromechanical shaker and other hardware.



IEC

Key

Component and meters to monitor

DUT: device under test	Piece of energy harvester
Voltage meter (V)	To detect a voltage across the external load
Ampere meter (A)	To detect a current through the external load
External load (R)	Load with specific impedance

Equipment and supplies

Controller	To supply a specified frequency of electrical signal to the linear motor
Linear motor/vibration exciter	To supply a specified level and frequency of bending/stretching/twisting motion to a piece of DUT
Stress & strain monitoring	To detect an acceleration, force and strain of the linear motor

Figure 4 – Test setup for the electrical characteristics of a flexible piezoelectric energy harvester

5.2.2 Capacitance

It is a capacitance measured between two terminals of an energy harvesting device at a specified frequency and voltage. A calibration of an LCR meter should be made in order to eliminate systematic errors that have occurred in the LCR meter, cable, and connectors. When the device is connected to the LCR meter, its capacitance will be displayed. When measuring capacitance, the specified frequency and voltage for measurement should be recorded.

5.2.3 Open circuit voltage

It is the measured voltage resulting from the induced bending/stretching/twisting motion of the energy harvester via its terminals without external load. When measuring the open circuit voltage, the input impedance of the voltage meter should be recorded. Figure 5 shows a typical graphical shape of a measured open circuit voltage versus time of an energy harvester under constant input acceleration at constant frequency.

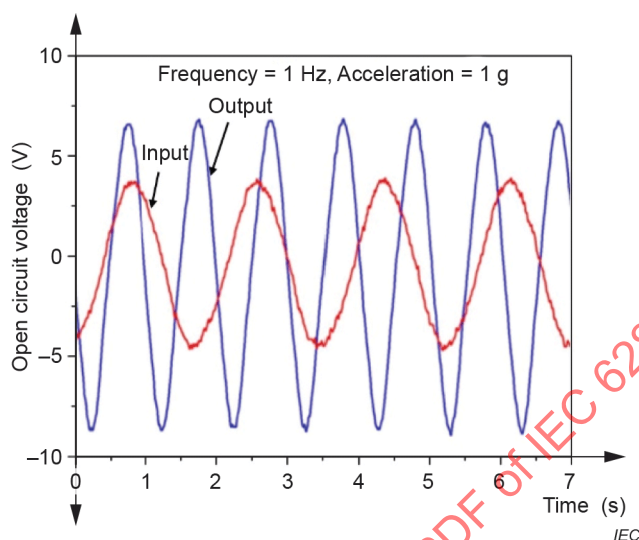


Figure 5 – Open circuit voltage of a flexible piezoelectric energy harvester

5.2.4 Short circuit current

It is the measured current resulting from the induced bending/stretching/twisting motion of the energy harvester via its terminals with short circuit configuration. Figure 6 shows a typical graphical shape of the short circuit current versus time measured at the energy harvester under constant input acceleration at constant frequency.

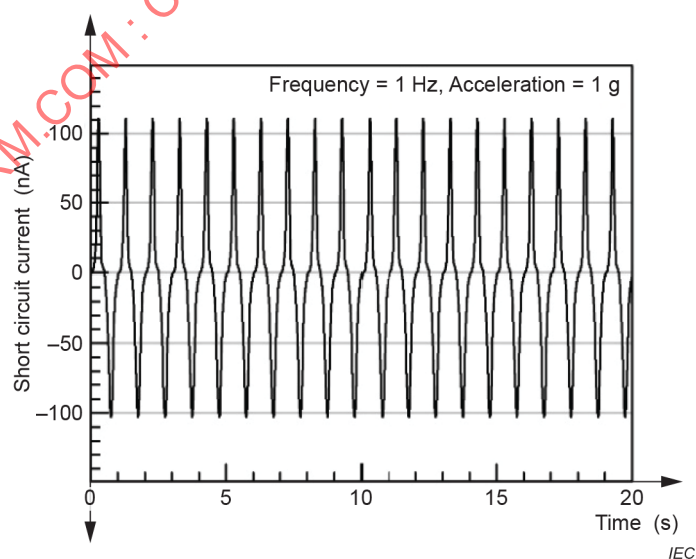
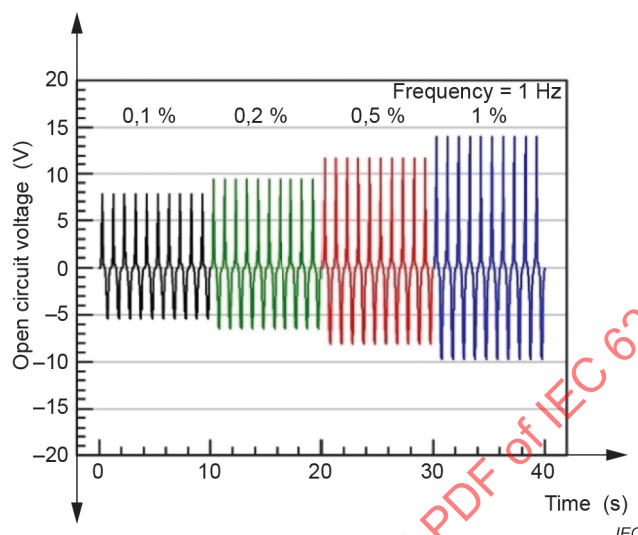


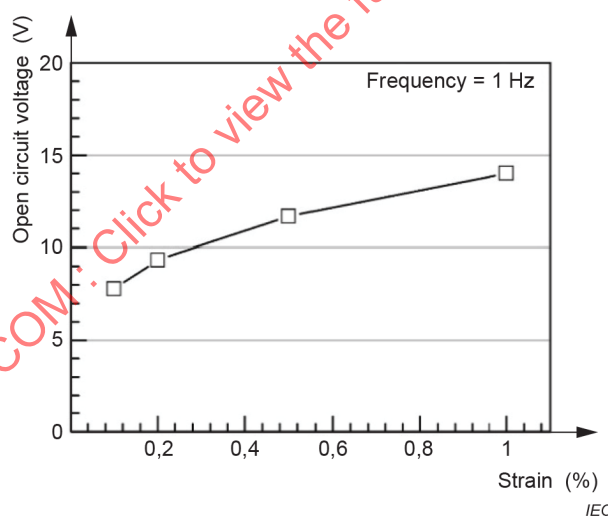
Figure 6 – Short circuit current of a flexible piezoelectric energy harvester

5.2.5 Open circuit voltage with various induced strains

It is the measured voltage resulting from the induced bending/stretching/twisting motion of the energy harvester via various induced strains. When measuring the open circuit voltage, the input impedance of the voltage meter should be recorded. Figure 7 shows a typical graphical shape of the measured open circuit voltage versus time with various induced strains at constant input frequency, and the measured open circuit voltage versus strain of the energy harvester.



a) Open circuit voltage versus time with various induced strains

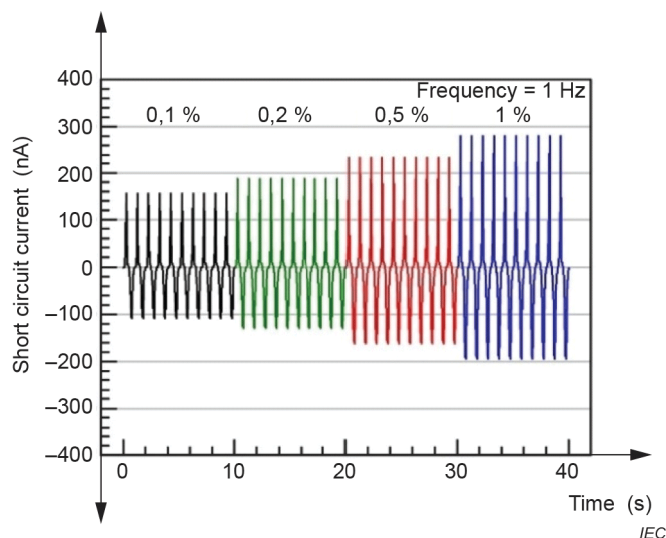


b) Open circuit voltage versus various induced strains

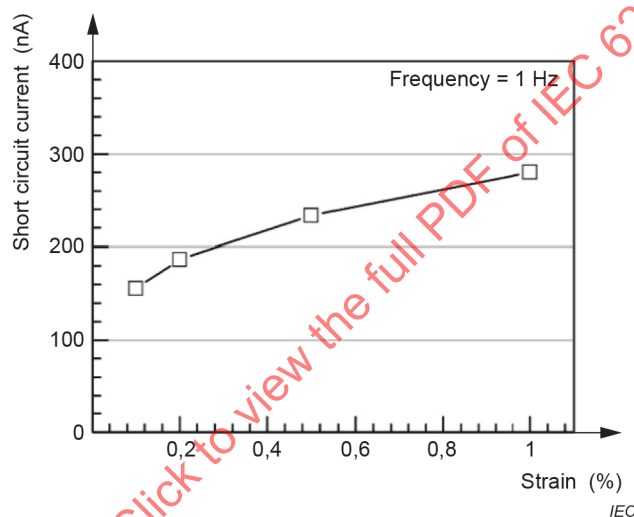
Figure 7 – Open circuit voltage of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced strains

5.2.6 Short circuit current with various induced strains

It is the measured current resulting from the induced bending/stretching/twisting motion of the energy harvester via various induced strains. When measuring the open circuit voltage, the input impedance of the voltage should be recorded. Figure 8 shows a typical graphical shape of the measured short circuit current versus time with various induced strains and the measured short circuit current versus strain of the energy harvester.



a) Short circuit current versus time with various induced strains

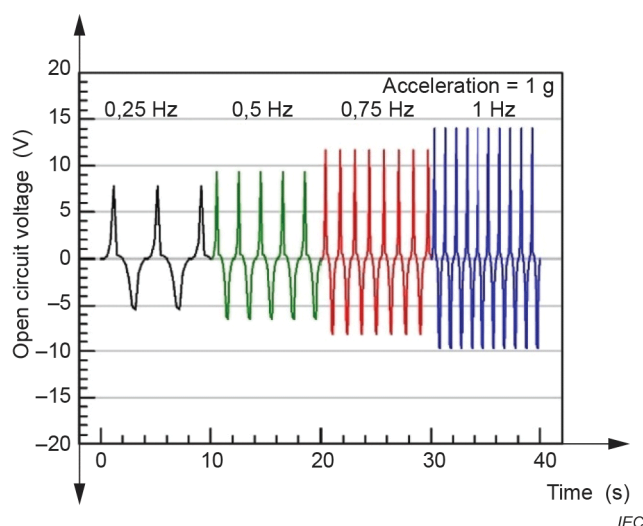


b) Short circuit current versus various induced strains

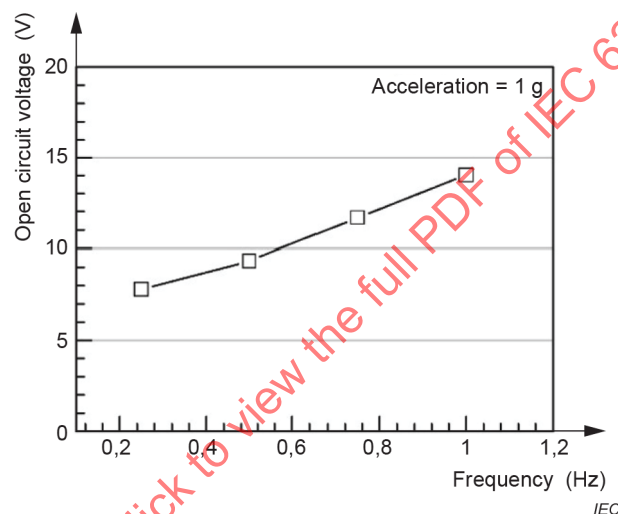
Figure 8 – Short circuit current of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced strains

5.2.7 Open circuit voltage with various induced frequencies

It is the measured voltage resulting from the induced bending/stretching/twisting motion of the energy harvester via various induced frequencies. When measuring the open circuit voltage, the input impedance of the voltage meter should be recorded. Figure 9 shows a typical graphical shape of the measured open circuit voltage versus time with various induced frequencies, and the measured open circuit voltage versus frequency of the energy harvester.



a) Open circuit voltage versus time with various induced frequencies

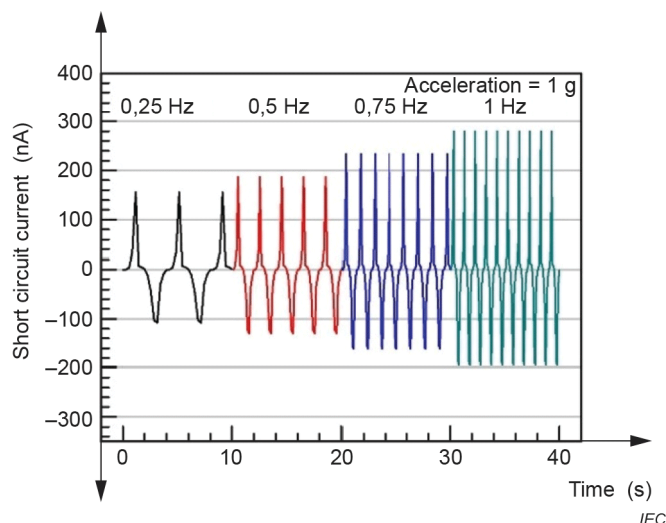


b) Open circuit voltage versus various induced frequencies

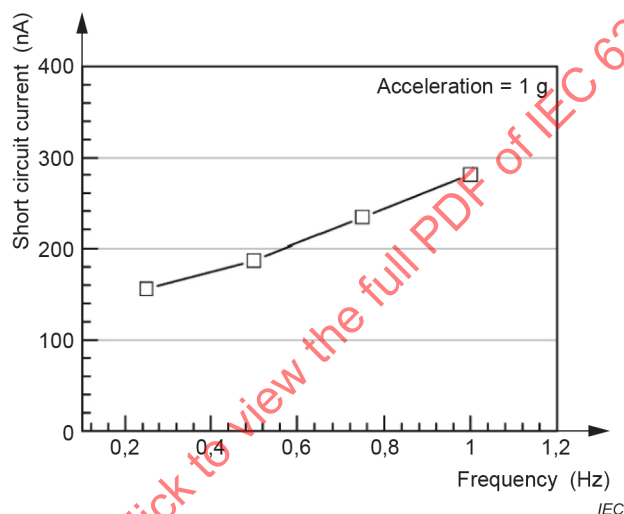
Figure 9 – Open circuit voltage of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced frequencies

5.2.8 Short circuit current with various induced frequencies

It is the measured current resulting from the induced bending/stretching/twisting motion of the energy harvester via various induced frequencies. When measuring the open circuit voltage, the input impedance of the voltage meter should be recorded. Figure 10 shows a typical graphical shape of the measured short circuit current versus time with various induced frequencies, and the measured short circuit current versus frequency of the energy harvester.



a) Short circuit current versus time with various induced frequencies



b) Short circuit current versus various induced frequencies

Figure 10 – Short circuit current of the flexible piezoelectric energy harvester with various induced frequencies

5.2.9 Output load voltage

It is the RMS value of the voltage measured across the terminals of the energy harvester with a specified external load and induced bending, stretching, or twisting motion. Figure 11 shows the graphical shape of the measured output voltage versus external resistive load connected to the terminals of the energy harvester.

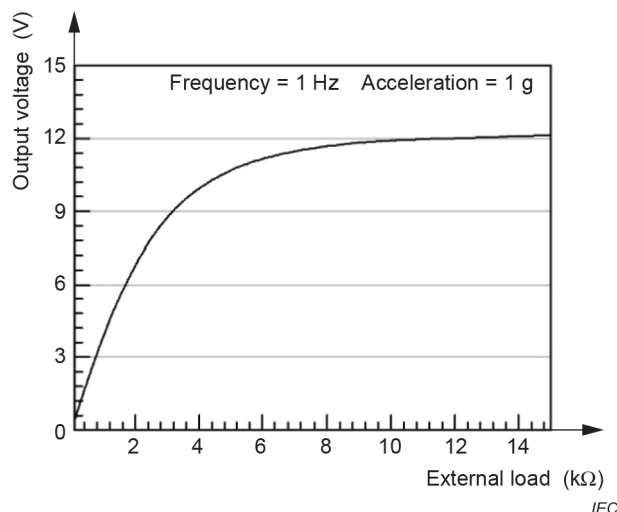


Figure 11 – Output load voltages of flexible piezoelectric energy harvester at various external loads

5.2.10 Output current

It is the current measured through the specified external load connected to the terminals of the flexible energy harvester at the specified induced bending, stretching, or twisting motion. Figure 12 shows the graphical shape of the measured current versus output voltage of the energy harvester. The short circuit current from the terminal of the energy harvester is the RMS value of the measured current when the voltage across the energy harvester is zero.

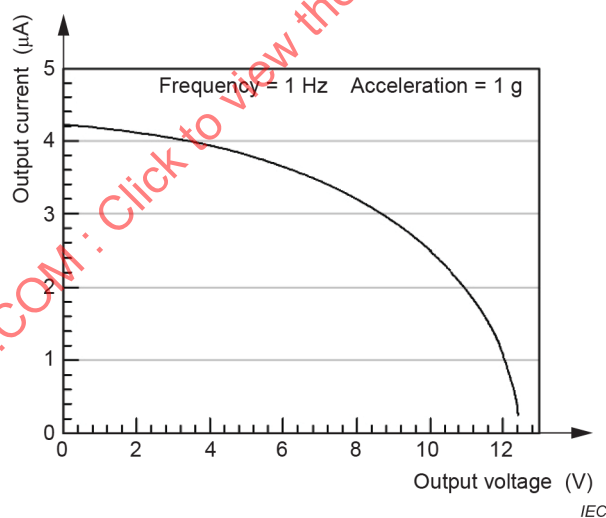


Figure 12 – Output current of the flexible piezoelectric energy harvester at various output voltages

5.2.11 Output power

Output power is calculated from the RMS value of the measured output voltage and current of the energy harvester with external load.

$$P = IV \text{ [W]} \quad (2)$$

Figure 13 shows the graphical shape of the measured output power versus external load of the energy harvester.

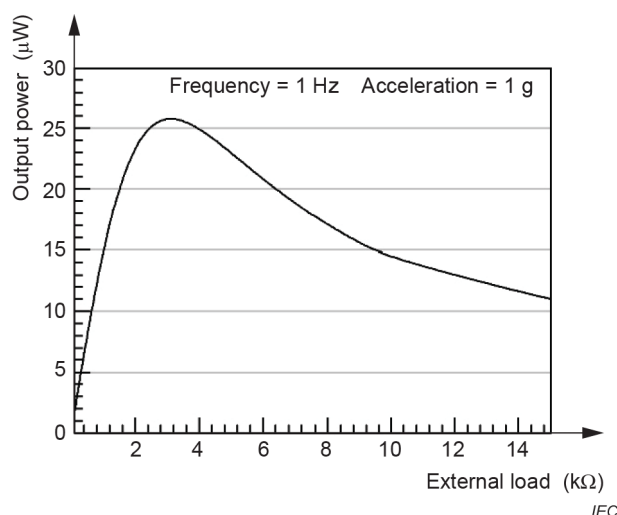


Figure 13 – Output power of the flexible piezoelectric energy harvester at various external loads

5.2.12 Optimal load impedance

Optimal load impedance is determined as the value of the external load when the output power of the energy harvester is maximum.

5.2.13 Maximum output power

It is the maximum value of the output power measured from the energy harvester at a specified maximum input bending, stretching or twisting motion. The maximum input bending, stretching, or twisting motion is described in 5.2.17 to 5.2.19. Figure 14 shows the graphical shape of measured output power and voltage versus various input bending, stretching, or twisting motions.

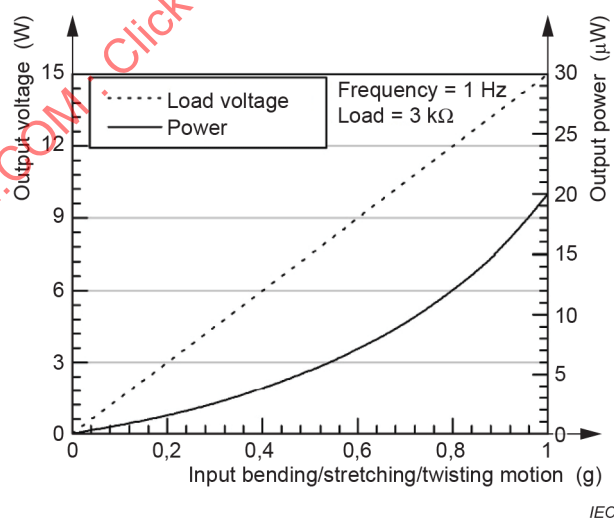


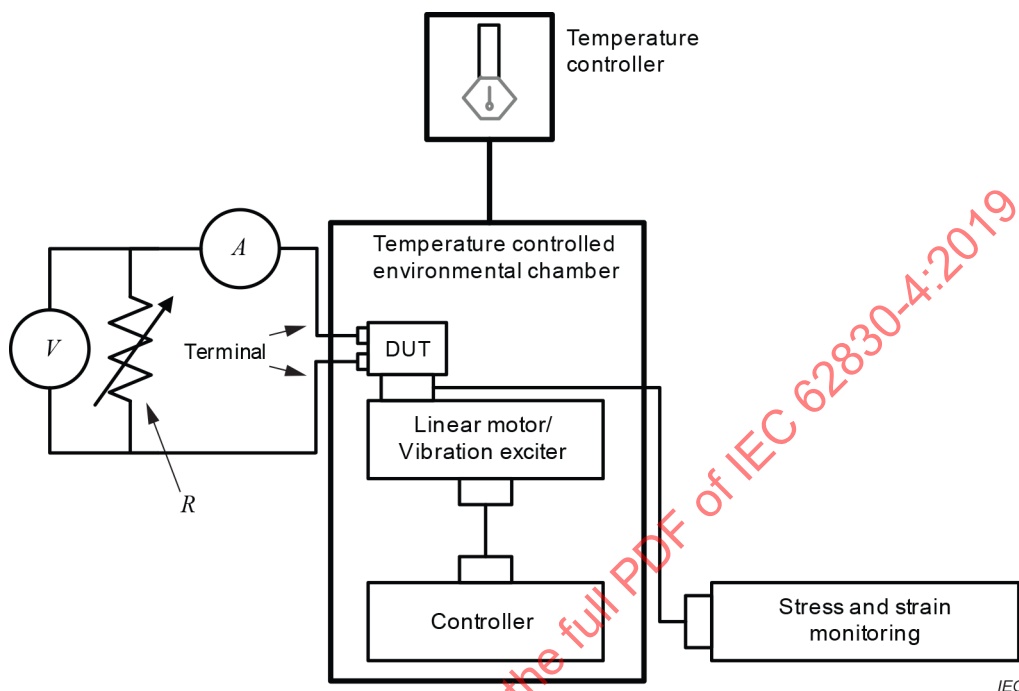
Figure 14 – Output power and voltage of the flexible piezoelectric energy harvester at various input bending, stretching, or twisting motions

5.2.14 Test procedure

Figure 15 shows a test setup of the reliability of the flexible piezoelectric energy harvester. When a continuous bending, stretching or twisting motion is applied to the device, output voltage or current is measured through an external load connected to the device.

To test the reliability, the following test procedure is performed:

- a bending, stretching or twisting motion is induced to the energy harvester;
- the output voltage or current of the energy harvester is measured by the meter.



Key

Component and meters to monitor

DUT: device under test	A piece of energy harvester
Voltage meter (V)	To detect a voltage across the external load
Ampere meter (A)	To detect a current through the external load
External load (R)	Load resistor

Equipment and supplies

Controller	To supply a specified frequency of electrical signal to the linear motor
Linear motor/vibration exciter	To supply a specified level and frequency of bending motion to a piece of DUT
Stress & strain monitoring	To detect an acceleration, force and strain of the linear motor
Temperature controlled environment chamber	To keep a specified temperature value of a piece of DUT

Figure 15 – Block diagram of a test setup for evaluating the reliability of the flexible piezoelectric energy harvester

5.2.15 Temperature range

The objective of this test is to evaluate the reliability of the device by a low/high temperature cycling test. The temperature range should be specified from the applications. First, the test is performed in the temperature cycling test chamber, where temperature is changed from $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$. The performance characteristics are monitored by a meter.

IEC 60749-5 applies.

5.2.16 Relative humidity range

The objective of this test is to evaluate the reliability of the device by a low/high humidity test. The humidity range should be specified from the applications. The test is performed in the humidity cycling test chamber where humidity is changed from 10 % to 90 % with a specific temperature. The performance characteristics are monitored by a meter.

IEC 60749-5 applies.

5.2.17 Input bending motion range

The objective of this test is to evaluate the reliability of the device by a high input bending motion. The bending range should be specified from the applications. First, the test is performed as a cycling test of the induced bending motion with various accelerations (range: 0,1 g to 10 g), and second, by placing the finished energy harvester on the linear motor (bending angle from 0° to 180°). The performance characteristics are monitored by a meter.

5.2.18 Input stretching motion range

The objective of this test is to evaluate the reliability of the device by a high input stretching motion. The stretching range should be specified from the applications. First, the test is performed as a cycling test of the induced stretching motion with various accelerations, and second, by placing the finished energy harvester on the linear motor (stretching range: 0 % to 300 %). The performance characteristics are monitored by a meter.

5.2.19 Input twisting motion range

The objective of this test is to evaluate the reliability of the device by a high input twisting motion. The twisting range should be specified from the applications. First, the test is performed as a cycling test of the induced twisting motion with various accelerations, and second, by placing the finished energy harvester on the linear motor (twisting angle: 0° to 360°). The performance characteristics are monitored by a meter.

IEC 60749-12 applies.

Annex A (informative)

Piezoelectric modes

A.1 General

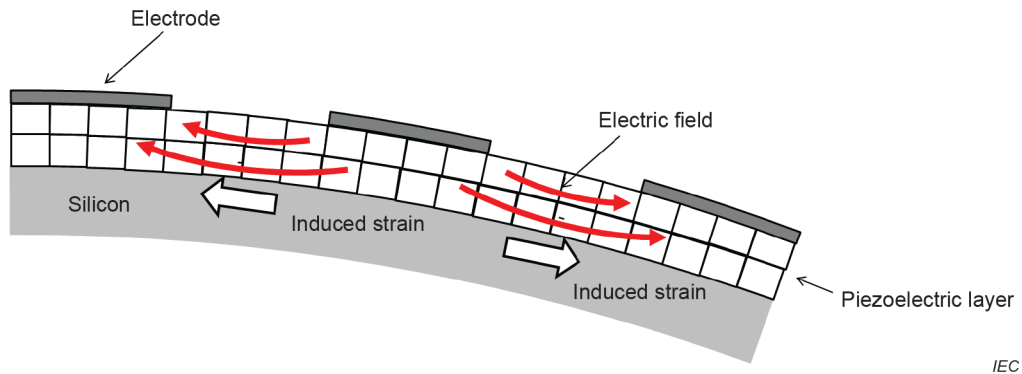
The piezoelectric charge constant, ' d ', is the polarization generated per unit of mechanical stress (T) applied to a piezoelectric material or, alternatively, is the mechanical strain (S) experienced by a piezoelectric material per unit of electric field applied. The first subscript to ' d ' indicates the direction of polarization generated in the material when the electric field, ' E ', is zero or, alternatively, is the direction of the applied field strength. The second subscript is the direction of the applied stress or the induced strain, respectively. Because the strain induced in a piezoelectric material by an applied electric field is the product of the value for the electric field and the value for ' d ', ' d ' is an important indicator of a material's suitability for strain-dependent (actuator) applications. Figure A.1 shows the piezoelectric mode of a bending beam based energy harvester.

A.2 d_{33} mode

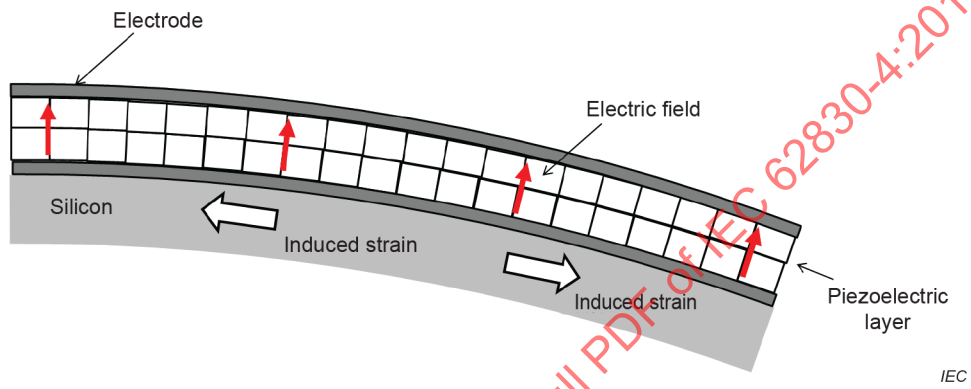
In d_{33} mode, the polarization is induced in direction 3 (parallel to the direction in which the ceramic element is polarized) per unit stress applied in direction 3. The electrodes for the d_{33} mode of the piezoelectric thin film are on the top or bottom side of the film and are shaped like comb (or interdigitated) electrodes as shown in Figure A.1 a).

A.3 d_{31} mode

In d_{31} mode, the polarization is induced in direction 3 (parallel to the direction in which the ceramic element is polarized) per unit stress applied in direction 1 (perpendicular to the direction in which the ceramic element is polarized). The electrodes for the d_{31} mode of the piezoelectric thin film are on the top and bottom sides of the film as shown in Figure A.1 b).



a) d_{33} mode



b) d_{31} mode

Figure A.1 – Piezoelectric mode of the bending beam based energy harvester

Annex B (informative)

Classification of flexible piezoelectric energy harvesters

B.1 General

Recent advances in materials science and mechanical engineering enable the realization of high performance piezoelectric systems in soft, flexible/stretchable formats, with unique opportunities for use in bio-integrated applications, from mechanical energy harvesting to sensing and actuation. Figure B.1 shows the classification of flexible piezoelectric energy harvesters.

B.2 Piezoelectric thin film with top and bottom electrodes (d_{31} mode)

The piezoelectric flexible energy harvester is comprised of a flexible substrate, piezoelectric layer, and top/bottom electrodes.

B.3 Piezoelectric thin film with comb structured electrodes (d_{33} mode)

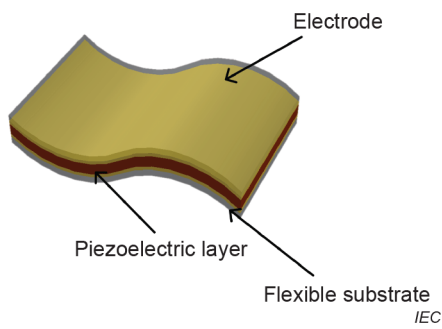
The piezoelectric flexible energy harvester is comprised of a flexible substrate, piezoelectric layer, and comb structured electrodes on the piezoelectric layer.

B.4 Piezoelectric nano wire with top and bottom electrodes

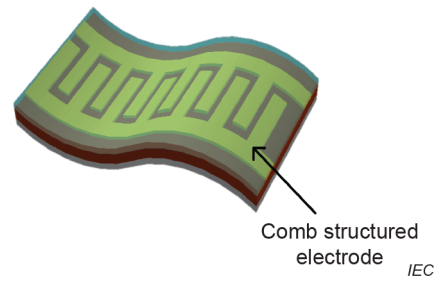
The piezoelectric flexible energy harvester is comprised of a flexible substrate, spread piezoelectric nano wires, and top/bottom electrodes.

B.5 Flexible piezoelectric material with top and bottom electrodes

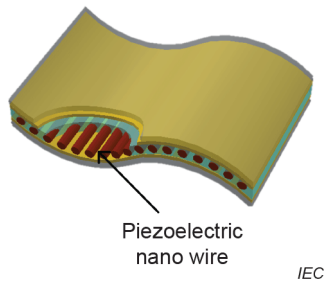
The piezoelectric flexible energy harvester is comprised of a flexible piezoelectric material and top/bottom electrodes.



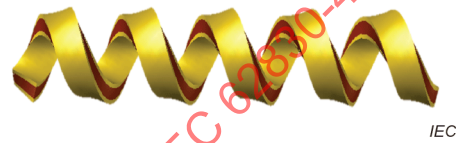
a) Piezoelectric thin film with top and bottom electrodes



b) Piezoelectric thin film with comb structured electrodes



c) Piezoelectric nano wire with top and bottom electrodes



d) Flexible piezoelectric material with top and bottom electrodes

Figure B.1 – Classification of flexible piezoelectric energy harvesters

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-4:2019

Annex C (informative)

Input motions

C.1 Classification of strain motions

To measure the electrical characteristics of the flexible piezoelectric energy harvester, the device should be mounted on a linear motor. When a continuous bending, stretching, or twisting motion with a specified acceleration (or force) is applied to the device, an output voltage or current across an external load is measured. Figure C.1 shows the classification of strain motions applied for flexible piezoelectric energy harvesters.

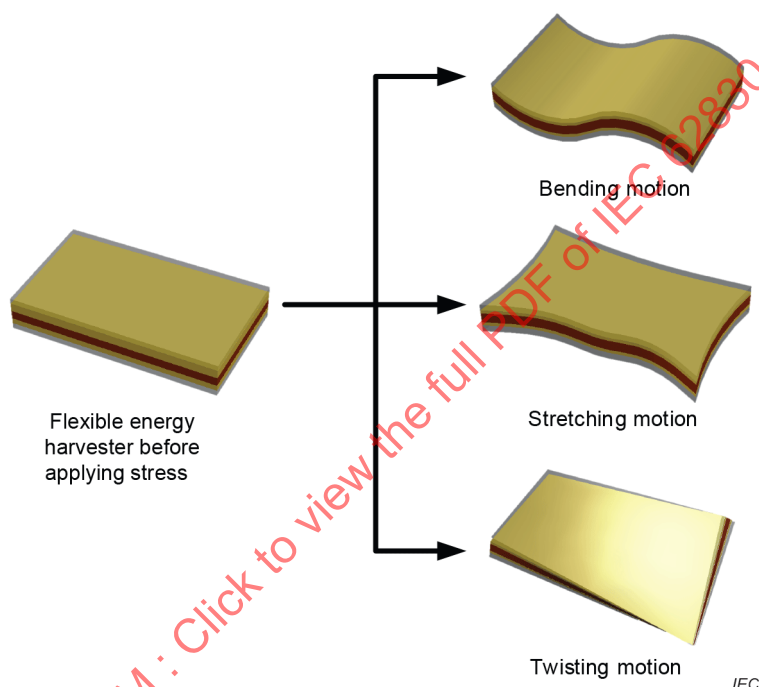
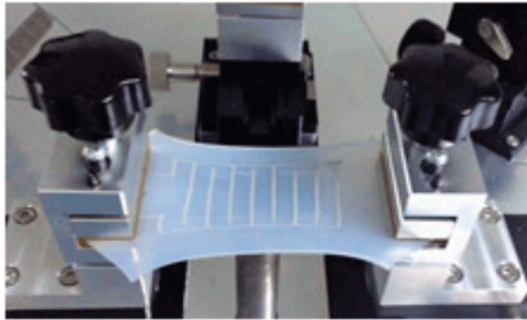


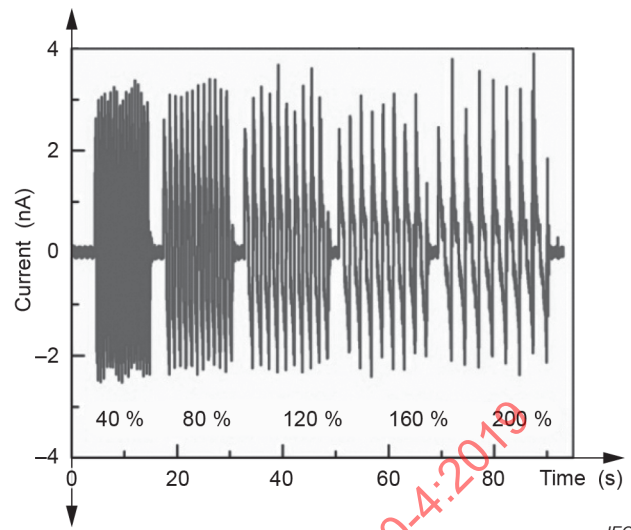
Figure C.1 – Classification of strain motions applied for flexible piezoelectric energy harvesters

C.2 Example of test method

A semiconductor parameter analyser and a probe system are used to characterize the piezoelectric properties of a flexible piezoelectric harvester, where the device is fixed on a home-made tensile platform whose tensile speed, amplitude and frequency can be tuned digitally, or attached to the human body with tape to monitor or harvest the energy from human movement. The harvester is capable of generating electricity from all directions by arbitrary mechanical motion in the environment. Figure C.2 shows the output current measurement setup and output data for different types of stretching. The result illustrates that the outputs approximatively keep constant under the uniform motion of 40 mm/s, even if the strain amplitude changes from 40 % to 200 %, and similar results can be obtained for biaxial stretching. These results indicate that the electrical outputs of both the uniaxial and biaxial stretching are determined by the speed of the tensile load, rather than by the amplitude.



IEC



IEC

a) Experimental setup for stretching of harvester

b) Output current under different types of stretching

Figure C.2 – The output current measurement for different types of stretching

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-4:2019

Annex D (informative)

Electromechanical coupling

D.1 Compliance and coupling coefficient relation

The relation between the elastic compliance and piezoelectric coupling coefficient is the following:

$$s^D = s^E (1 - k^2)$$

where

s^D = compliance at constant dielectric field D (open circuit);

s^E = compliance at constant field strength E (short circuit);

k = piezoelectric coupling coefficient.

D.2 Young's modulus and coupling coefficient relation

The relation between Young's modulus and the piezoelectric coupling coefficient is the following:

$$\frac{1}{Y^D} = \frac{(1 - k^2)}{Y^E} \quad \text{or} \quad Y^D = \frac{Y^E}{(1 - k^2)}$$

Y^D = Young's modulus at the open circuit;

Y^E = Young's modulus at the short circuit.

The piezoelectric material has two different Young's moduli, depending on the electrical boundary conditions (short circuit or open circuit). Since k is always less than 1,0, the open circuit modulus Y^D is always greater than the short circuit modulus Y^E . The physical reason is as follows.

Consider an open circuit piezoelectric material that is subjected to a compressive force F . Part of the energy of compression goes toward deforming the piezoelectric material and part goes toward establishing an electric field (i.e., a charge separation due to the piezoelectric material's capacitance). Now, if the piezoelectric material is short circuited then the electric field disappears. The energy of the electric field also disappears but, because this is a conservative system, that energy is converted into another form of energy – in this case, additional deformation of the piezoelectric material. Thus, the piezoelectric material compresses more at short circuit than at open circuit. So, Young's modulus at the short circuit (Y^E) is lower than Young's modulus at the open circuit (Y^D).

Bibliography

IEC 60749-10, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 10: Mechanical shock*

IEC 62047-5, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 5: RF MEMS switches*

IEC 62047-7, *Semiconductor devices – Micro-electromechanical devices – Part 7: MEMS BAW filter and duplexer for radio frequency control and selection*

IEC 62830-1, *Semiconductor devices – Semiconductor devices for energy harvesting and generation – Part 1: Vibration based piezoelectric energy harvesting*

S. Roundy, P.K. Wright, and J. Rabaey, *Energy Scavenging for Wireless Sensor Networks with Special Focus on Vibrations*, Kluwer Academic Press, 2003

Yongqing Duan, Yajiang Ding, Jing Bian, Zhoulong Xu, Zhouping Yin and Yongan Huang, *Ultra-Stretchable Piezoelectric Nanogenerators via Large-Scale Aligned Fractal Inspired Micro/Nanofibers*, *Polymers* 9 (2017) 714

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-4:2019

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-4:2019

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	34
1 Domaine d'application	36
2 Références normatives	36
3 Termes et définitions	36
3.1 Termes généraux	36
3.2 Transducteur piézoélectrique	38
3.3 Paramètres des caractéristiques	38
4 Paramètres essentiels des valeurs assignées et des caractéristiques	40
4.1 Valeurs limites et conditions de fonctionnement	40
4.2 Informations supplémentaires	41
5 Méthode d'essai	41
5.1 Généralités	41
5.2 Caractéristiques électriques	42
5.2.1 Procédure d'essai	42
5.2.2 Capacité	44
5.2.3 Tension en circuit ouvert	44
5.2.4 Courant de court-circuit	44
5.2.5 Tension en circuit ouvert avec différentes déformations induites	45
5.2.6 Courant de court-circuit avec différentes déformations induites	46
5.2.7 Tension en circuit ouvert avec différentes fréquences induites	47
5.2.8 Courant de court-circuit avec différentes fréquences induites	48
5.2.9 Tension de charge en sortie	49
5.2.10 Courant de sortie	50
5.2.11 Puissance de sortie	50
5.2.12 Impédance de charge optimale	51
5.2.13 Puissance de sortie maximale	51
5.2.14 Procédure d'essai	52
5.2.15 Plage de températures	53
5.2.16 Plage de taux d'humidité relative	53
5.2.17 Plage de mouvements de courbure en entrée	53
5.2.18 Plage de mouvements d'étirement en entrée	53
5.2.19 Plage de mouvements de torsion en entrée	53
Annexe A (informative) Modes piézoélectriques	54
A.1 Généralités	54
A.2 Mode d_{33}	54
A.3 Mode d_{31}	54
Annexe B (informative) Classification des récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	56
B.1 Généralités	56
B.2 Film mince piézoélectrique avec électrodes supérieure et inférieure (mode d_{31})	56
B.3 Film mince piézoélectrique avec électrodes en peigne (mode d_{33})	56
B.4 Nanofil piézoélectrique avec électrodes supérieure et inférieure	56
B.5 Matériau piézoélectrique souple avec électrodes supérieure et inférieure	56

Annexe C (informative) Mouvements en entrée	58
C.1 Classification des mouvements de déformation	58
C.2 Exemple de méthode d'essai	58
Annexe D (informative) Couplage électromécanique	60
D.1 Relation entre la complaisance et le coefficient de couplage	60
D.2 Relation entre le module de Young et le coefficient de couplage	60
Bibliographie	61
Figure 1 – Récupérateur d'énergie souple utilisant un substrat souple avec film piézoélectrique	37
Figure 2 – Circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	39
Figure 3 – Procédure de mesure des récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	42
Figure 4 – Montage d'essai pour les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	43
Figure 5 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	44
Figure 6 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	45
Figure 7 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes déformations induites	46
Figure 8 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes déformations induites	47
Figure 9 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes fréquences induites	48
Figure 10 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes fréquences induites	49
Figure 11 – Tensions de charge en sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes charges externes	50
Figure 12 – Courant de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes tensions de sortie	50
Figure 13 – Puissance de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes charges externes	51
Figure 14 – Puissance de sortie et tension de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différents mouvements de courbure, d'étirement ou de torsion	51
Figure 15 – Schéma fonctionnel d'un montage d'essai pour l'évaluation de la fiabilité d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple	52
Figure A.1 – Mode piézoélectrique d'un récupérateur d'énergie basé sur le rayon de courbure	55
Figure B.1 – Classification des récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	57
Figure C.1 – Classification des mouvements de déformation appliqués aux récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	58
Figure C.2 – Mesure du courant de sortie avec différentes amplitudes d'étirement	59
Tableau 1 – Paramètres des spécifications pour les récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples	40

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS POUR RÉCUPÉRATION ET PRODUCTION D'ÉNERGIE –

Partie 4: Méthodes d'essai et d'appréciation pour les dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 62830-4 a été établie par le comité d'études 47: Dispositifs à semiconducteurs.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
47/2530/FDIS	47/2551/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 62830, publiées sous le titre général *Dispositifs à semiconducteurs – Dispositifs à semiconducteurs pour récupération et production d'énergie*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 62830-4:2019

DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS – DISPOSITIFS À SEMICONDUCTEURS POUR RÉCUPÉRATION ET PRODUCTION D'ÉNERGIE –

Partie 4: Méthodes d'essai et d'appréciation pour les dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 62830 décrit les termes, définitions, symboles, configurations et les méthodes d'essai pouvant être utilisés pour apprécier et déterminer les caractéristiques de performance des dispositifs de récupération d'énergie piézoélectrique souples dans le contexte d'une utilisation pratique. Le présent document s'applique aux dispositifs de récupération d'énergie destinés au grand public, aux industries générales, aux appareils électroniques portatifs et aux applications militaires et biomédicales, sans restriction concernant la technologie et la taille des dispositifs.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60749-5, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 5: Steady-state temperature humidity bias life test* (disponible en anglais seulement)

IEC 60749-12, *Dispositifs à semiconducteurs – Méthodes d'essais mécaniques et climatiques – Partie 12: Vibrations, fréquences variables*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>

3.1 Termes généraux

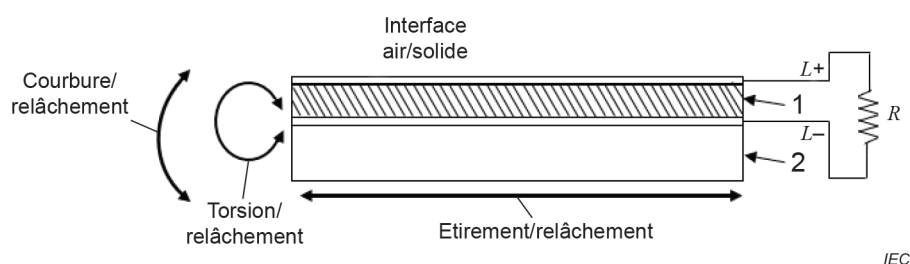
3.1.1 souple

capacité à être courbé ou soumis à flexion

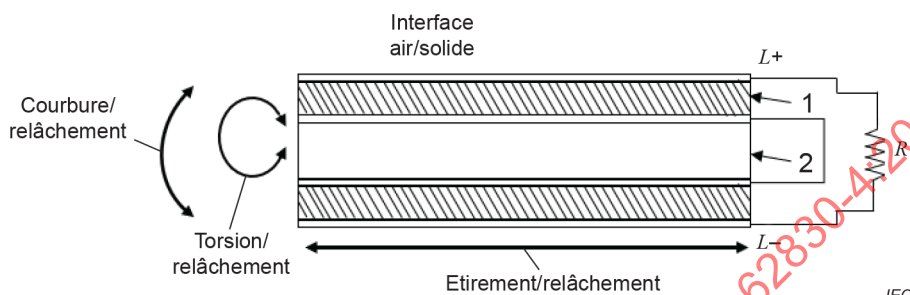
3.1.2 récupérateur d'énergie souple

transducteur d'énergie qui transforme en énergie électrique l'énergie résultant d'un effort en courbure, en étirement ou en torsion

Note 1 à l'article: Un récupérateur d'énergie souple qui convertit en électricité la contrainte appliquée par courbure, étirement ou torsion, à l'aide d'un transducteur piézoélectrique, est composé d'un ressort et d'un transducteur piézoélectrique, comme représenté à la Figure 1. Le transducteur piézoélectrique contient deux électrodes et un film piézoélectrique ou des nanofils. La contrainte externe induite applique sur le substrat souple le mouvement de courbure, d'étirement ou de torsion, comme indiqué à l'Annexe C. Le substrat souple est courbé; la courbure du ressort engendre une tension et une compression du film piézoélectrique. Les électrodes supérieure et inférieure du film piézoélectrique récupèrent les charges générées par l'effet piézoélectrique.



1(a) Type unimorphe



1(b) Type bimorphe

Légende**Structure du récupérateur d'énergie**

- | | |
|---|---|
| 1 | Film piézoélectrique qui constitue le corps du transducteur piézoélectrique pour la récupération d'énergie |
| 2 | Ressort permettant d'accoupler au substrat souple, par suspension, la courbure, l'étirement ou la torsion induite |

Composants pour exploiter un récupérateur d'énergie

- | | |
|----------|-----------------------------------|
| R | Charge externe |
| $L+, L-$ | Sorties du récupérateur d'énergie |

Figure 1 – Récupérateur d'énergie souple utilisant un substrat souple avec film piézoélectrique

Note 2 à l'article: Le récupérateur d'énergie piézoélectrique souple peut être classifié en quatre types différents, comme présenté à l'Annexe B.

3.1.3**console unimorphe**

console composée d'une couche piézoélectrique

Note 1 à l'article: Une console unimorphe se compose en fait de deux couches: la couche piézoélectrique est reliée à la couche non piézoélectrique qui fait office de ressort, afin d'exercer la contrainte extérieure sur la couche piézoélectrique.

3.1.4**console bimorphe**

console composée de deux couches piézoélectriques

Note 1 à l'article: Dans une console bimorphe, la couche non piézoélectrique est insérée entre deux couches piézoélectriques.

3.1.5**substrat souple**

substrat fabriqué à partir de matériaux souples, par exemple des polyimides et du polydiméthylsiloxane (PDMS)

3.1.6

ressort

objet élastique pour stocker de l'énergie mécanique avec une constante de ressort, k_{sp}

[SOURCE: IEC 62830-1:2017, 3.1.5]

3.2 Transducteur piézoélectrique

3.2.1

transducteur piézoélectrique

convertisseur d'énergie pour produire de l'électricité à partir d'énergie mécanique par effet piézoélectrique

[SOURCE: IEC 62830-1: 2017, 3.2.1]

3.2.2

effet piézoélectrique

effet selon lequel une déformation mécanique d'un matériau piézoélectrique produit une variation proportionnelle de la polarisation électrique de ce même matériau

3.2.3

constante piézoélectrique

d

valeur de quantification de la polarisation dans le matériau piézoélectrique, lorsqu'une contrainte est appliquée

3.2.4

coefficient de couplage électromécanique

k

valeur décrivant la vitesse de conversion de l'énergie électrique en une forme mécanique, ou inversement

Note 1 à l'article: Le coefficient est une combinaison des constantes élastique, diélectrique et piézoélectrique qui apparaît naturellement dans l'expression du transducteur piézoélectrique.

$$k = \frac{d}{(s\varepsilon)^{1/2}} \quad (1)$$

où

d est la constante de charge piézoélectrique;

s est la complaisance élastique (inverse du module de Young) sur le champ électrique constant;

ε est la permittivité du matériau piézoélectrique sujet à une contrainte constante.

Note 2 à l'article: Des informations complémentaires concernant la constante piézoélectrique et le couplage électromagnétique sont présentées aux Annexes A et D.

3.2.5

capacité

C_p

capacité entre les deux électrodes du transducteur piézoélectrique

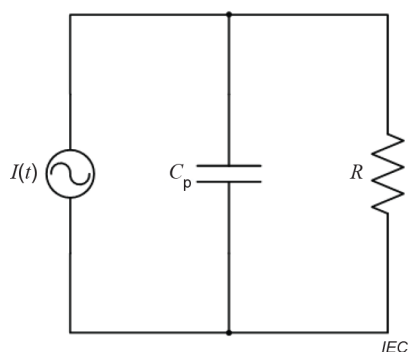
3.3 Paramètres des caractéristiques

3.3.1

circuit équivalent

<d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple> circuit électrique présentant la même tension de sortie à partir d'un mouvement induit de courbure, d'étirement ou de torsion, qu'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple au voisinage immédiat d'une résonance

Note 1 à l'article: Un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple peut être divisé entre la partie source de courant et la partie capacité, comme représenté à la Figure 2. Le circuit équivalent est composé d'un montage en parallèle de C_p , de R et du transformateur ($I(t)$), où C_p et R représentent respectivement la capacité entre les deux électrodes du transducteur piézoélectrique et une charge externe.



Légende

$I(t)$	source de courant du transducteur piézoélectrique
C_p	capacité du transducteur piézoélectrique
R	charge externe

Figure 2 – Circuit équivalent d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple

3.3.2

tension en circuit ouvert

V

différence de potentiel électrique par rapport à un nœud de référence d'un récupérateur d'énergie lorsqu'aucune charge externe n'est raccordée aux bornes du récupérateur d'énergie

3.3.3

courant de court-circuit

I

courant traversant la charge externe raccordée aux bornes d'un récupérateur d'énergie

[SOURCE: IEC 62830-1:2017, 3.3.6, modifié – le terme "courant de sortie" a été remplacé par "courant de court-circuit".]

3.3.4

puissance de sortie

P

puissance électrique transférée à la charge externe raccordée aux bornes d'un récupérateur d'énergie

[SOURCE: IEC 62830-1:2017, 3.3.5]

3.3.5

densité de puissance

puissance électrique par unité de volume (comprenant masse sismique et organe de serrage) transférée à la charge externe raccordée aux bornes du récupérateur d'énergie

3.3.6

charge optimale

R_{opt}

valeur spécifiée de la charge externe pour transférer la plus grande énergie électrique du récupérateur d'énergie

[SOURCE: IEC 62830-1: 2017, 3.3.7]

3.3.7**plage de températures**

plage des températures mesurées sur l'enveloppe dans laquelle le récupérateur d'énergie ne subira pas de détérioration permanente même s'il ne fonctionne pas nécessairement dans les tolérances spécifiées

[SOURCE: IEC 62830-1: 2017, 3.3.9]

3.3.8**plage de taux d'humidité**

plage des taux d'humidité mesurés dans l'enveloppe dans laquelle le récupérateur d'énergie ne subira pas de détérioration permanente même s'il ne fonctionne pas nécessairement dans les tolérances spécifiées

3.3.9**contrainte d'entrée**

plage des contraintes induites par le mouvement de courbure, le mouvement d'étirement et le mouvement de torsion sur le récupérateur d'énergie mesurées sur l'enveloppe, dans laquelle le récupérateur d'énergie ne subira pas de détérioration permanente dans le cadre d'un fonctionnement sur le long terme, même s'il ne fonctionne pas nécessairement dans les tolérances spécifiées

3.3.10**temps moyen jusqu'à défaillance**

durée pendant laquelle le récupérateur d'énergie est susceptible de rester en fonctionnement sans présenter de défaillance ou d'interruption de service

4 Paramètres essentiels des valeurs assignées et des caractéristiques

4.1 Valeurs limites et conditions de fonctionnement

Il convient que les paramètres des spécifications et des caractéristiques soient énumérés comme indiqué dans le Tableau 1. Le fabricant doit communiquer clairement les conditions de fonctionnement et leurs limites pour la récupération d'énergie. La valeur limite est le mouvement induit maximal de courbure, d'étirement ou de torsion assurant le fonctionnement sur le long terme du récupérateur d'énergie souple pour la production de puissance, sans aucun dommage.

Tableau 1 – Paramètres des spécifications pour les récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples

Paramètre	Symbole	Valeur min.	Valeur max.	Unité	Conditions de mesure
<i>Insérer le nom des paramètres de caractéristique</i>					

Les informations données dans le Tableau 1 sont les suivantes:

- Paramètre: le nom du paramètre de caractéristique;
- Symbole: le symbole associé au paramètre;
- Valeur min.: la valeur minimale associée au paramètre;
- Valeur max.: la valeur maximale associée au paramètre;
- Unité: l'unité de mesure associée au paramètre;
- Conditions de mesure: les conditions spécifiées pour l'évaluation.

4.2 Informations supplémentaires

Il convient que certaines informations supplémentaires soient fournies, comme les circuits équivalents (par exemple fréquence de résonance, impédance interne, réponse en fréquence, tension et puissance de sortie, etc.), les précautions de manipulation, les informations physiques (par exemple dimensions d'encombrement, bornes, etc.), les accessoires, le guide d'installation, les informations sur le boîtier, les informations de montage et d'interface de carte à circuit imprimé, et d'autres informations.

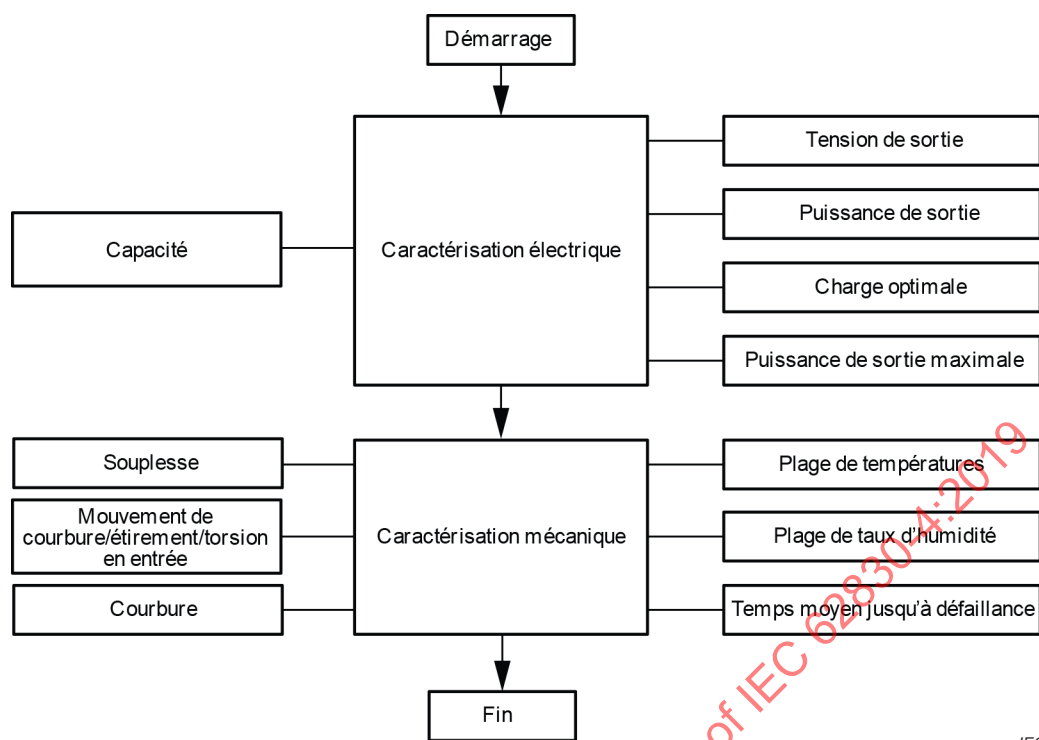
5 Méthode d'essai

5.1 Généralités

Fondamentalement, les procédures d'essai générales pour un récupérateur d'énergie souple sont appliquées comme représenté à la Figure 3. Une fois le récupérateur d'énergie piézoélectrique souple installé sur le montage d'essai, il fait l'objet de mesures par un voltmètre, un ampèremètre et un appareil de mesure RLC. Pour la mesure et la caractérisation précises de ces dispositifs, il convient d'utiliser des appareils de mesure à très haute impédance.

Une fois l'équipement de mesure étalonné, relier le câble d'essai aux bornes de sortie du récupérateur d'énergie souple installé sur le montage d'essai, par exemple un excitateur de vibrations ou un moteur linéaire. La valeur de la tension ou du courant de sortie lue sur l'affichage des appareils de mesure est soigneusement relevée avec le mouvement induit de courbure, d'étirement ou de torsion, mesuré par l'accéléromètre.

NOTE Un récupérateur d'énergie souple peut être mesuré comme représenté à la Figure 3. Après le montage du récupérateur d'énergie sur un moteur linéaire, les caractéristiques électriques sont mesurées à l'aide d'un appareil de mesure ou d'un équipement équivalent. Si les mesures sont satisfaisantes, un essai de fiabilité pour une utilisation commerciale est réalisé avec des cycles de températures sur une plage établie et différents mouvements de courbure, d'étirement ou de torsion jusqu'à une défaillance mécanique.



IEC

Légende

Procédure	Paragraphe de référence	Procédure	Paragraphe de référence
Démarrage		Caractérisation mécanique	
Caractérisation électrique		Souplesse	3.1.1
Capacité	3.2.5 et 5.2.2	Mouvement de courbure/étirement/torsion en entrée	3.3.9 et 5.2.17 à 5.2.19
Tension de sortie	5.2.9	Plage de températures	3.3.7 et 5.2.15
Puissance de sortie	3.3.4 et 5.2.11	Plage de taux d'humidité	3.3.8 et 5.2.16
Charge optimale	3.3.6 et 5.2.12	Temps moyen jusqu'à défaillance	3.3.10
Puissance de sortie maximale	5.2.13		

Figure 3 – Procédure de mesure des récupérateurs d'énergie piézoélectrique souples

5.2 Caractéristiques électriques

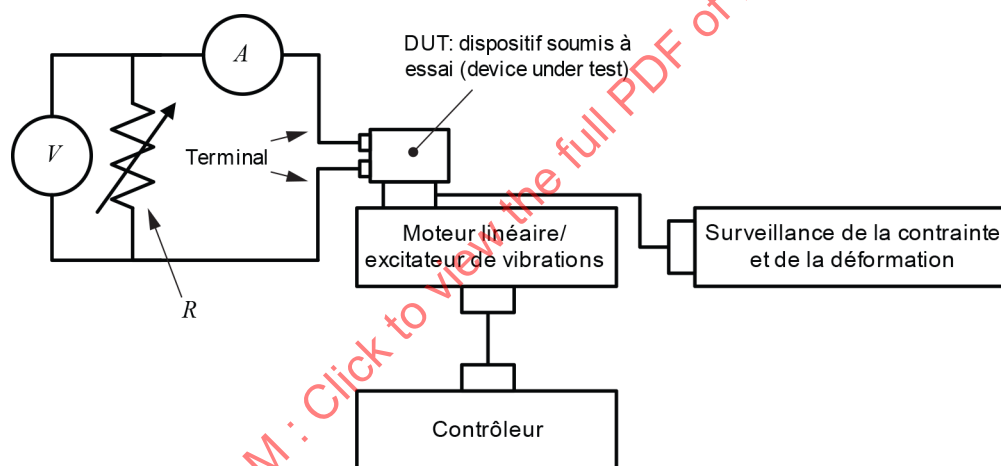
5.2.1 Procédure d'essai

La Figure 4 représente un montage d'essai des caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple. Pour mesurer les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple, il convient d'installer le dispositif sur un moteur linéaire/un excitateur de vibrations, comme représenté à la Figure 4. Lorsque les formes d'onde d'entrée du signal périodique (sinusoïdales, rectangulaires, triangulaires, en dents de scie, etc.), à la fréquence et à l'accélération spécifiées, sont appliquées au dispositif avec la condition d'un mouvement continu de courbure, d'étirement ou de torsion, une tension de sortie au travers d'une charge externe et un courant de court-circuit sont mesurés. Le mouvement en entrée (la contrainte) utilisé pour caractériser les dispositifs peut être choisi comme les applications possibles des dispositifs. Le sens de déformation dépend de la structure géométrique du récupérateur d'énergie, et du sens de l'accélération appliquée. L'entrée choisie pour toutes les données expérimentales présentées ici est une onde périodique de forme sinusoïdale, présentant une fréquence de 1 Hz et une accélération de 1 g.

La procédure d'essai suivante est utilisée:

- Un mouvement spécifique de courbure, d'étirement ou de torsion est induit sur le récupérateur d'énergie.
- La tension ou le courant passant au travers de la charge externe branchée aux bornes du récupérateur d'énergie est mesuré à l'aide d'un voltmètre ou d'un ampèremètre, respectivement.
- La tension et le courant sont mesurés selon plusieurs amplitudes d'accélération du mouvement de courbure, d'étirement ou de torsion, en réglant le rapport d'amplification du contrôleur.
- La tension et le courant sont mesurés entre les électrodes supérieure et inférieure, ou sur une électrode en peigne, par connexion en marche avant et marche inverse sur la plage de déformations spécifiée.
- La tension et le courant sont mesurés selon différentes fréquences et plages de déformations induites.
- La tension et le courant sont déterminés à partir des différentes charges externes pour trouver la charge optimale.

NOTE Dans les expériences d'excitation aléatoires, l'excitation de base est destinée à couvrir une large plage de fréquences d'excitation, devant être aussi proches que possible du bruit blanc et dans les limites de l'agitateur électromécanique et des autres matériels.



IEC

Légende

Composant et appareils de mesure pour la surveillance

DUT: dispositif soumis à essai (device under test)	Un exemplaire de récupérateur d'énergie
Voltmètre (V)	Pour détecter une tension au travers de la charge externe
Ampèremètre (A)	Pour détecter une intensité au travers de la charge externe
Charge externe (R)	Charge présentant une impédance spécifique

Equipement et matériel

Contrôleur	Pour fournir au moteur linéaire un signal électrique d'une fréquence spécifiée
Moteur linéaire/ excitateur de vibrations	Pour exercer sur un DUT un mouvement de courbure/d'étirement/de torsion d'un niveau et d'une fréquence spécifiés
Surveillance de la contrainte et de la déformation	Pour détecter l'accélération, la force et la déformation du moteur linéaire

Figure 4 – Montage d'essai pour les caractéristiques électriques d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple

5.2.2 Capacité

Il s'agit de la capacité mesurée entre deux bornes d'un dispositif de récupération d'énergie, à une fréquence et une tension spécifiées. Il convient d'effectuer un étalonnage d'un appareil de mesure RLC afin d'éliminer les erreurs systématiques qui sont survenues au niveau des connecteurs, du câble et de l'appareil de mesure RLC. La capacité du dispositif est affichée une fois celui-ci branché à l'appareil de mesure RLC. Lors de la mesure de la capacité, il convient de consigner la fréquence et la tension spécifiées pour la mesure.

5.2.3 Tension en circuit ouvert

Il s'agit de la tension mesurée aux bornes du récupérateur d'énergie et résultant du mouvement induit de courbure/d'étirement/de torsion du récupérateur d'énergie, sans charge externe. Lors de la mesure de la tension en circuit ouvert, il convient de consigner l'impédance d'entrée du voltmètre. La Figure 5 représente la forme graphique typique d'une mesure de tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie en fonction du temps, avec une accélération constante en entrée et à une fréquence constante.

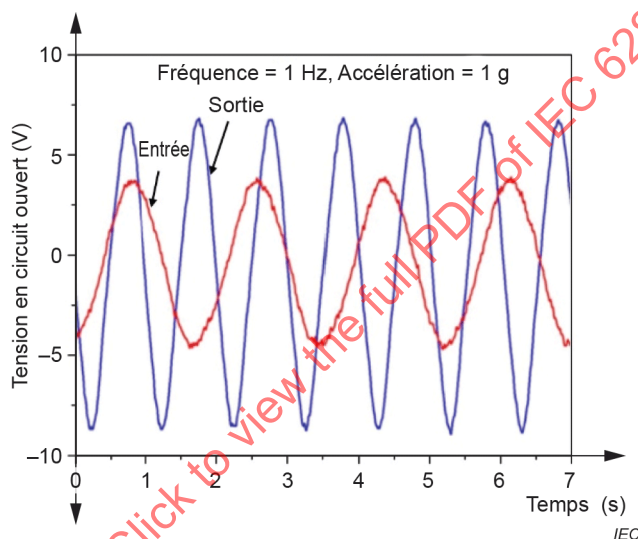


Figure 5 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple

5.2.4 Courant de court-circuit

Il s'agit du courant mesuré aux bornes du récupérateur d'énergie et résultant du mouvement induit de courbure/d'étirement/de torsion du récupérateur d'énergie, en configuration de court-circuit. La Figure 6 représente la forme graphique typique d'une mesure du courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie en fonction du temps, avec une accélération constante en entrée et à une fréquence constante.

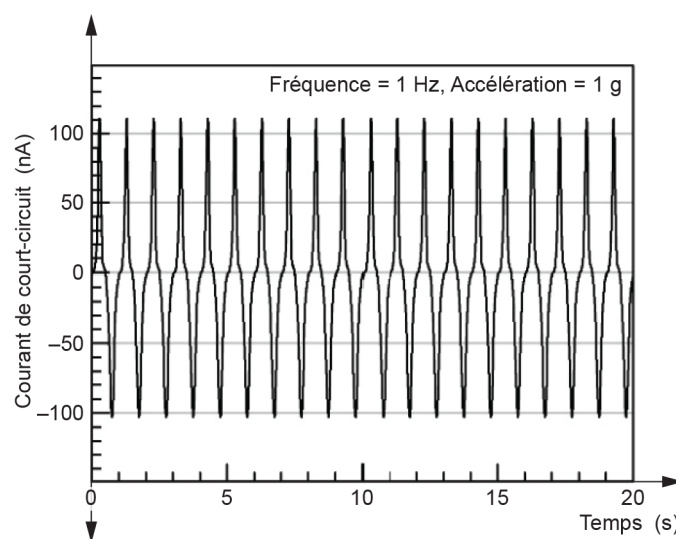
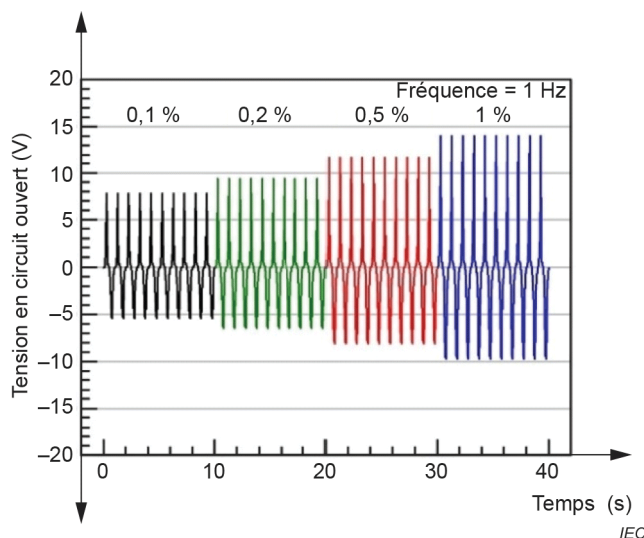


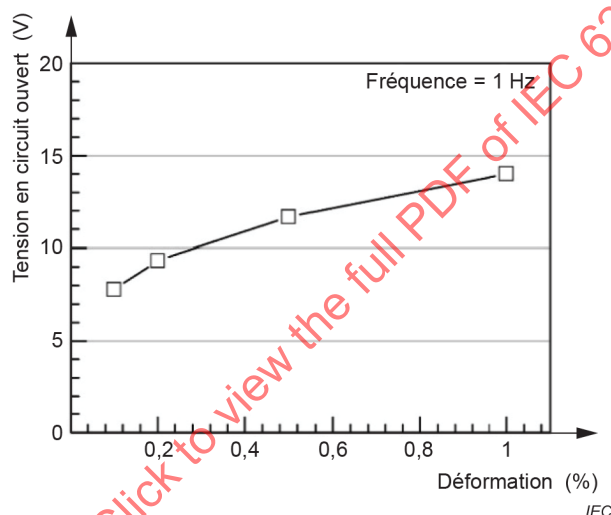
Figure 6 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple

5.2.5 Tension en circuit ouvert avec différentes déformations induites

Il s'agit de la tension mesurée selon différentes déformations induites et résultant du mouvement induit de courbure/d'étirement/de torsion du récupérateur d'énergie. Lors de la mesure de la tension en circuit ouvert, il convient de consigner l'impédance d'entrée du voltmètre. La Figure 7 représente d'une part la forme graphique typique d'une mesure de la tension en circuit ouvert en fonction du temps, avec différentes déformations induites à fréquence d'entrée constante, et d'autre part la forme graphique typique d'une mesure de la tension en circuit ouvert en fonction du taux de déformation auquel est soumis le récupérateur d'énergie.



a) Tension en circuit ouvert en fonction du temps avec différentes déformations induites

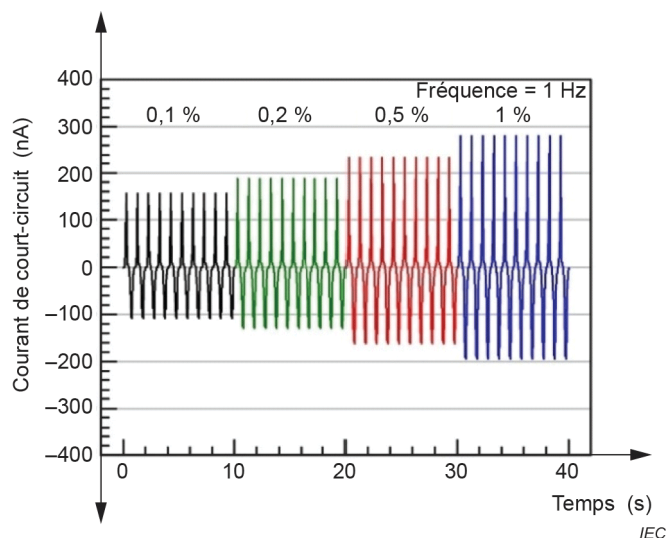


b) Tension en circuit ouvert en fonction de différentes déformations induites

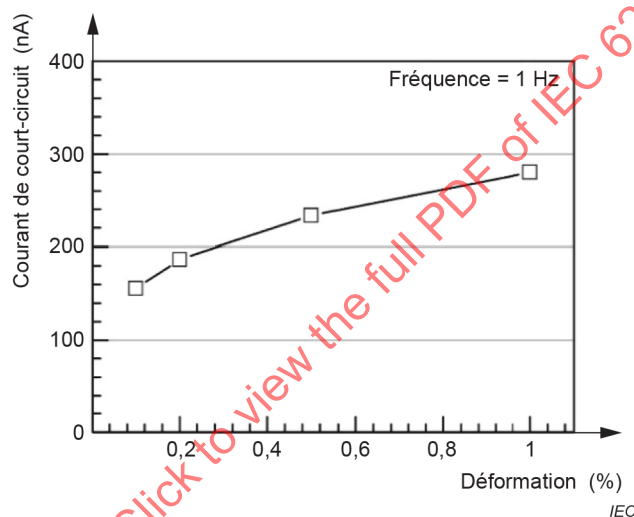
Figure 7 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes déformations induites

5.2.6 Courant de court-circuit avec différentes déformations induites

Il s'agit du courant mesuré selon différentes déformations induites et résultant du mouvement induit de courbure/d'étirement/de torsion du récupérateur d'énergie. Lors de la mesure de la tension en circuit ouvert, il convient de consigner l'impédance d'entrée du voltmètre. La Figure 8 représente d'une part la forme graphique typique d'une mesure du courant de court-circuit en fonction du temps, avec différentes déformations induites, et d'autre part la forme graphique typique d'une mesure du courant de court-circuit en fonction du taux de déformation auquel est soumis le récupérateur d'énergie.



a) Courant de court-circuit en fonction du temps avec différentes déformations induites

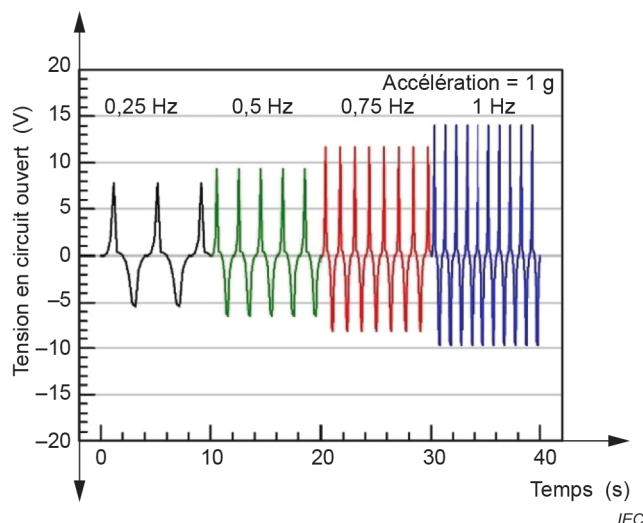


b) Courant de court-circuit en fonction de différentes déformations induites

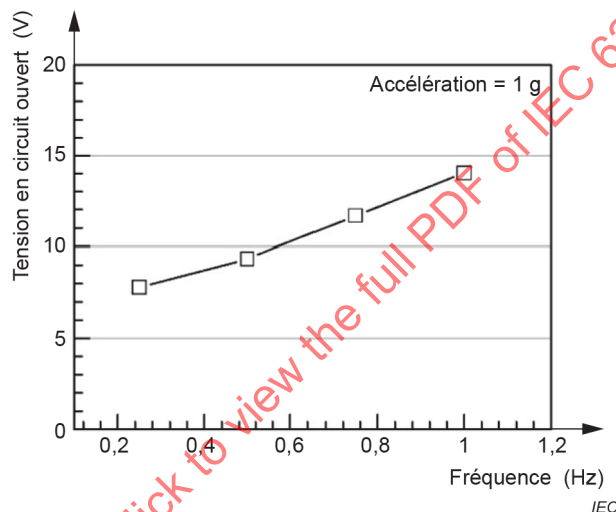
Figure 8 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes déformations induites

5.2.7 Tension en circuit ouvert avec différentes fréquences induites

Il s'agit de la tension mesurée selon différentes fréquences induites et résultant du mouvement induit de courbure/d'étirement/de torsion du récupérateur d'énergie. Lors de la mesure de la tension en circuit ouvert, il convient de consigner l'impédance d'entrée du voltmètre. La Figure 9 représente d'une part la forme graphique typique d'une mesure de la tension en circuit ouvert en fonction du temps, avec différentes fréquences induites, et d'autre part la forme graphique typique d'une mesure de la tension en circuit ouvert en fonction de la fréquence du récupérateur d'énergie.



a) Tension en circuit ouvert en fonction du temps avec différentes fréquences induites

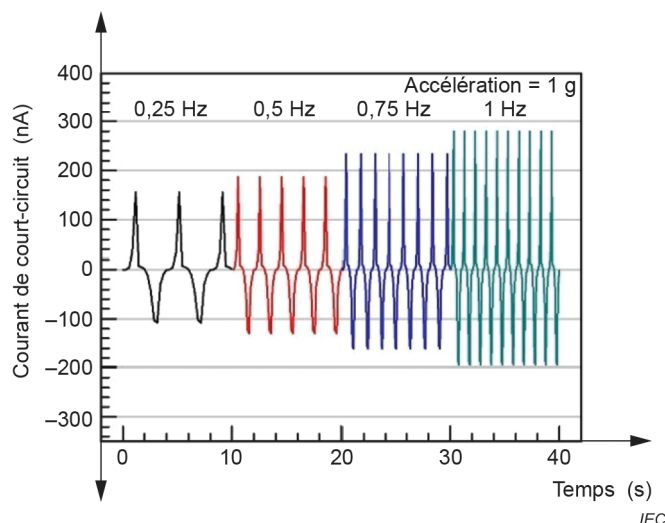


b) Tension en circuit ouvert en fonction de différentes fréquences induites

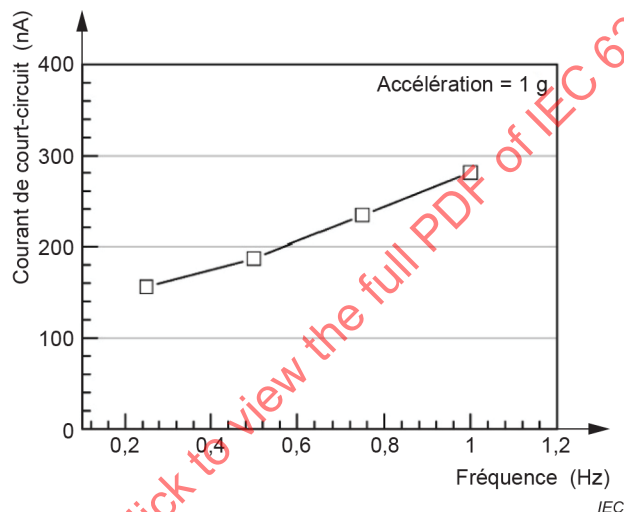
Figure 9 – Tension en circuit ouvert d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes fréquences induites

5.2.8 Courant de court-circuit avec différentes fréquences induites

Il s'agit du courant mesuré selon différentes fréquences induites et résultant du mouvement induit de courbure/d'étirement/de torsion du récupérateur d'énergie. Lors de la mesure de la tension en circuit ouvert, il convient de consigner l'impédance d'entrée du voltmètre. La Figure 10 représente d'une part la forme graphique typique d'une mesure du courant de court-circuit en fonction du temps, avec différentes fréquences induites, et d'autre part la forme graphique typique d'une mesure du courant de court-circuit en fonction de la fréquence du récupérateur d'énergie.



a) Courant de court-circuit en fonction du temps avec différentes fréquences induites



b) Courant de court-circuit en fonction de différentes fréquences induites

Figure 10 – Courant de court-circuit d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes fréquences induites

5.2.9 Tension de charge en sortie

Il s'agit de la valeur efficace de la tension mesurée aux bornes du récupérateur d'énergie, avec une charge externe spécifiée et un mouvement induit de courbure, d'étirement ou de torsion. La Figure 11 représente la forme graphique d'une mesure de la tension de sortie en fonction de la charge résistive externe reliée aux bornes du récupérateur d'énergie.

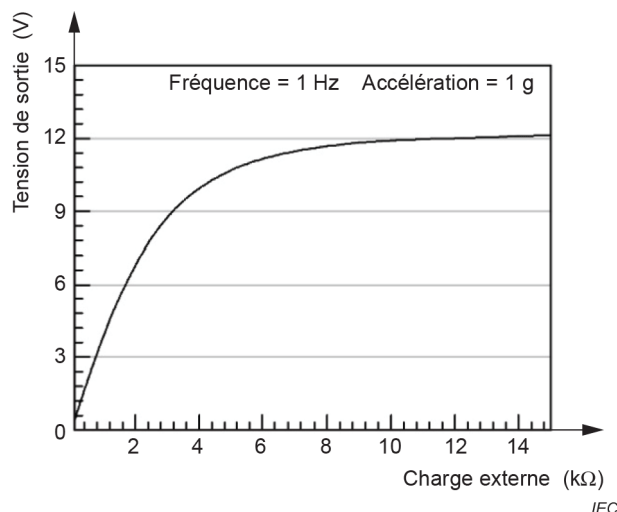


Figure 11 – Tensions de charge en sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes charges externes

5.2.10 Courant de sortie

Il s'agit du courant mesuré au travers de la charge externe spécifiée reliée aux bornes d'un récupérateur d'énergie souple avec le mouvement induit spécifié de courbure, d'étirement ou de torsion. La Figure 12 représente la forme graphique d'une mesure du courant en fonction de la tension de sortie du récupérateur d'énergie. Le courant de court-circuit à partir de la borne du récupérateur d'énergie est la valeur efficace du courant mesuré lorsque la tension traversant le récupérateur d'énergie est nulle.

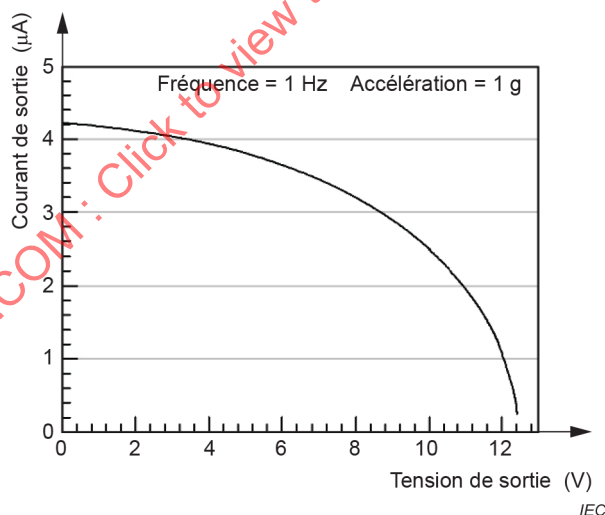


Figure 12 – Courant de sortie d'un récupérateur d'énergie piézoélectrique souple avec différentes tensions de sortie

5.2.11 Puissance de sortie

La puissance de sortie est calculée à partir de la valeur efficace de la tension de sortie et du courant de sortie mesurés sur le récupérateur d'énergie avec charge externe.

$$P = IV \text{ [W]} \quad (2)$$

La Figure 13 représente la forme graphique de la puissance de sortie mesurée en fonction de la charge externe du récupérateur d'énergie.